

Capítulo 3

Procedimientos para determinar los niveles y volúmenes característicos de un embalse

3.1. Niveles y volúmenes característicos de embalse

En los sistemas fluviales con regulación se distinguen tres niveles característicos del agua en un embalse, es decir, aguas arriba de la presa de regulación (Figura 3.1):

- Nivel muerto de embalse (NME) o nivel mínimo de operación normal del embalse.
- Nivel normal de embalse (NNE) o nivel máximo de operación normal del embalse.
- Nivel forzado o extraordinario de embalse (NFE) que se ubica sobre el nivel normal, en la magnitud de la altura de forzado a (sobreelevación de la cota sobre el NNE), cuando se presenta la crecida de diseño del sistema.

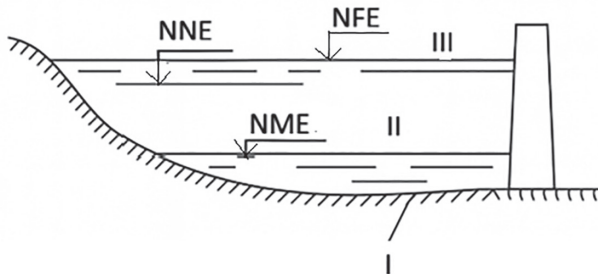


Figura 3.1. Volúmenes y niveles característicos de embalse.

I- volumen muerto (VME); II- volumen útil (VUE); III- volumen forzado (VFE).

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: Presas ciegas. Rusia. AGROPROMIZDAT.

Estos tres niveles característicos a su vez dan lugar a tres prismas de agua en el embalse:

- Prisma I es el volumen muerto de embalse (VME); puede ser definido como, el volumen que almacena los sedimentos transportados por el río durante la vida útil del sistema, pero que, además, como el volumen al que corresponde el nivel mínimo de operación normal del sistema (NME).
- Prisma II es el volumen útil de embalse (VUE) o volumen de operación normal del embalse; puede ser definido como, el volumen que permite satisfacer el gráfico de demanda del usuario o usuarios del sistema, con el nivel de garantía previamente establecido, en tiempo y volumen.
- Prisma III es un volumen extraordinario o de reserva que se presenta en los periodos de crecida, cuando llega a su máximo valor se le conoce como volumen forzado de embalse (VFE); puede ser definido como, el volumen que amortigua la crecida de diseño del sistema, al permitir que el caudal de diseño del aliviadero de excedentes sea menor al valor del pico de dicha crecida.

En consecuencia, cada uno de los tres binomios (nivel muerto de embalse-volumen muerto de embalse, nivel normal de embalse-volumen útil de embalse y nivel forzado de embalse-volumen forzado de embalse) tiene una relación unívoca. Esta relación analítica se expresa gráficamente a través de las curvas de embalse.

3.2. Curvas de embalse

Curva nivel de agua-área del espejo de agua, establece la relación entre el nivel o profundidad del agua en el embalse (inmediatamente aguas arriba de la presa) y el área limitada por la curva de nivel correspondiente $\Omega = f_1(h)$. El área del espejo de agua generalmente se expresa en hectáreas, en tanto que el nivel o profundidad de agua en metros. Esta curva se construye con la información del levantamiento topográfico del área del embalse.

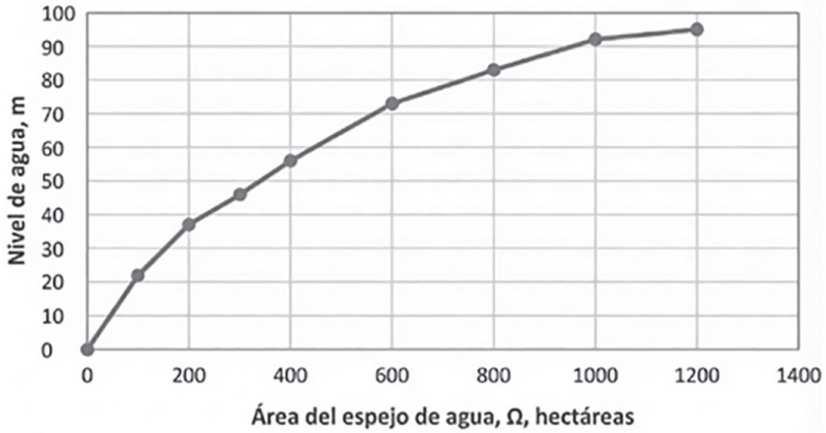


Figura 3.2. Curva de embalse $\Omega=f_1(h)$.

Curva nivel de agua-volumen de embalse, establece la relación entre el nivel o profundidad del agua en el embalse (inmediatamente aguas arriba de la presa) y el volumen de agua en el embalse, $V = f_2(h)$. El volumen de embalse generalmente se expresa en hectómetros cúbicos (Hm^3) y la profundidad o nivel en metros. Esta curva se construye a partir de la curva anterior del área del espejo de agua $\Omega = f_1(h)$, partiendo del nivel cero al que corresponde un volumen de embalse cero y sumando, secuencialmente, los volúmenes que se incrementan al elevar el nivel de agua.

$$V_i = V_{i-1} + \frac{\Omega_{i-1} + \Omega_i}{2} (H_i - H_{i-1}) \tag{3.0}$$

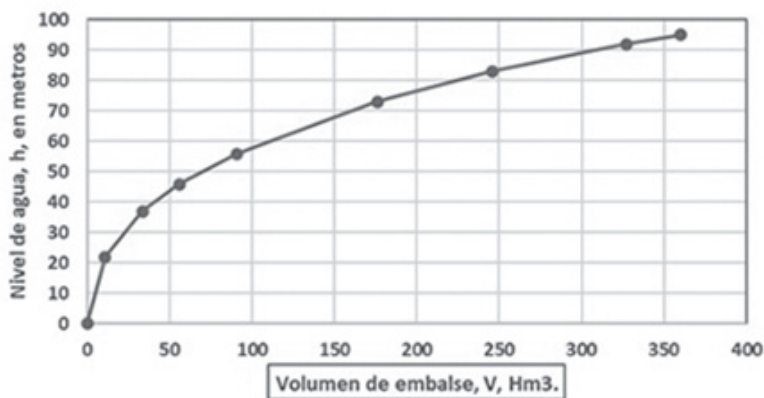


Figura 3.3. Curva de embalse $V=f_2[h]$.

3.3. Determinación de los niveles y volúmenes característicos de embalse

3.3.1. Volumen y nivel muerto de embalse

El tramo aguas arriba de la presa, o sea el embalse, permanentemente acumula los sedimentos que transporta el río durante la vida útil del sistema (por ejemplo 50-100 años); precisamente estos sedimentos se depositan en el volumen muerto de embalse (VME). Por otra parte, el nivel muerto de embalse (NME) es el nivel mínimo de operación del sistema y, por consiguiente, con este nivel debe ser posible entregar a los usuarios del sistema los caudales del gráfico de demanda, en la cota requerida.

De lo indicado se desprende que, el volumen muerto de embalse (y por consiguiente el nivel muerto de embalse) debe ser el mayor de entre los dos volúmenes obtenidos para satisfacer las dos condiciones indicadas:

- Condición de almacenamiento de los sedimentos acumulados durante la vida útil del sistema.
- Condición de entrega del agua del embalse a los usuarios del sistema, en el volumen necesario y la cota requerida por estos.

3.3.2. Volumen y nivel normal de embalse

Como se ha establecido, el nivel normal de embalse es el nivel máximo de operación normal del sistema; por consiguiente, el volumen normal de embalse determina el máximo volumen de agua en el embalse durante su operación normal. Bajo condiciones normales de operación el nivel de agua en el embalse fluctúa entre el nivel muerto de embalse (nivel mínimo de operación) y el nivel normal de embalse (nivel máximo de operación normal).

En este marco, el volumen normal de embalse, comprendido entre los niveles muerto y normal, debe ser el suficiente para satisfacer durante el periodo de operación, el gráfico de demanda del sistema, con los grados en (porcentajes) de garantía en tiempo y volumen, previamente establecidos.

Por tanto, para determinar el volumen normal de embalse se requiere contar con la serie multianual de los caudales medios mensuales disponibles, afluentes al embalse, y con el gráfico anual de demanda. Con esta información se procede a simular la operación del embalse, *variando el volumen útil de embalse* hasta que el gráfico de demanda sea satisfecho con los niveles de garantía mencionados. Cada simulación no es otra cosa que formular el balance hídrico para diferentes volúmenes de embalse.

En cada simulación de la operación del embalse, el grado o nivel de garantía obtenido en el tiempo es, la relación porcentual del número de meses M de la serie multianual, en los que la demanda ha sido plenamente satisfecha, con el número total de meses N de la serie. Por su parte, el nivel de garantía volumétrico es, la relación porcentual de la suma de los volúmenes mensuales de agua efectivamente entregados al usuario durante el periodo de simulación (durante los años de la serie multianual) $\sum_1^N V_{EN}$, a la suma de los volúmenes de agua del gráfico de demanda $\sum_1^N V_{GD}$ en el periodo de simulación. El menor de los dos porcentajes (temporal o volumétrico) debe ser igual al nivel de garantía previamente establecido.

El nivel de garantía que previamente se establece depende del grado de importancia del sistema, de su impacto en la economía y del tipo de usuario; se define en las especificaciones, normas o en los términos de referencia del proyecto; para los sistemas fluviales con embalse de regulación, el nivel de garantía generalmente fluctúa entre 75 % y 95 %.

Si el nivel de garantía en tiempo es NGT y el nivel de garantía volumétrico del sistema NGV, entonces:

$$NGT\% = \frac{M}{N} 100 \quad (3.1)$$

$$NGV = \frac{\sum_1^N V_{EN}}{\sum_1^N V_{GD}} 100 \quad (3.2)$$

3.3.3. Volumen y nivel forzado de embalse

El volumen forzado de embalse (VFE) es el volumen extraordinario de reserva ubicado sobre el NNE que permite amortiguar (laminar) la crecida de diseño cuando esta ingresa al embalse lleno, es decir, el volumen acumulado entre el NNE y NFE, dando lugar a que el caudal de diseño del aliviadero de excedentes sea menor al pico de dicha crecida. En consecuencia, mientras mayor sea el volumen forzado de embalse y, por consiguiente, mayor sea el nivel forzado de embalse, menor será el caudal de diseño del aliviadero y menor su costo; pero, por otro lado, cualquier incremento del nivel forzado de embalse origina, el aumento de la altura de la presa y de su costo, pero también el incremento de la superficie inundada y del costo de las indemnizaciones por inundación. En consecuencia, la determinación del volumen forzado de embalse requiere de un análisis técnico-económico de optimización en el que, por un lado, está el costo del aliviadero excedentes (A) y, por el otro, el costo de la presa y de las indemnizaciones por inundación (B). Lo indicado se ilustra en la Figura 3.4. Como conclusión se puede afirmar que, el nivel forzado de embalse (NFE) es aquel que genera la carga necesaria (H) para que ingrese el caudal de diseño al aliviadero de excedentes; esta afirmación se ilustra en la Figura 3.5 donde se muestra el orificio de en-

trada al aliviadero, en forma de un vertedero de ancho b que opera con la carga $H = NFE - NNE$.

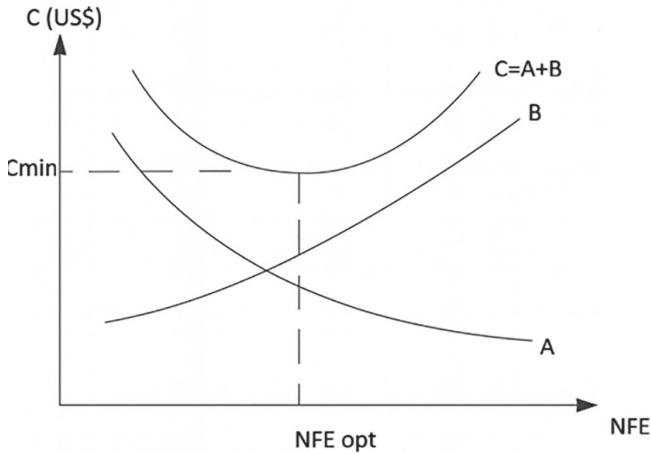


Figura 3.4. Análisis técnico-económico del aliviadero de excedentes.

A- costo del aliviadero de excedentes; B- costo de la presa y de las indemnizaciones por inundación.
Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: Presas ciegas. Rusia. AGROPROMIZDAT.

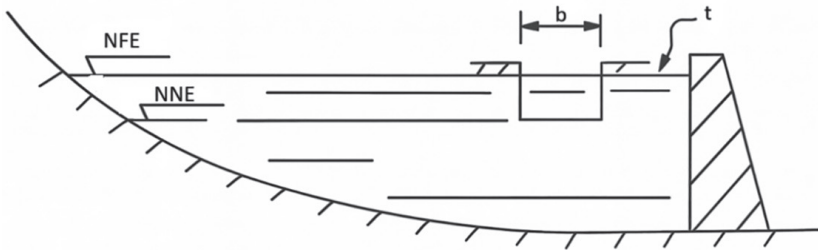


Figura 3.5. Vertedero de entrada al aliviadero de excedentes (caso de aliviadero sin compuertas).

Fuente: Chugaev, R. R. (1985). Construcciones hidráulicas: Presas ciegas. Rusia. AGROPROMIZDAT.